



# ABSCHLUSSBERICHT

**Solare Klärschlamm-trocknung auf den Inseln  
Pellworm, Sylt und Föhr  
am Beispiel der Kläranlagen  
Pellworm, Wenningstedt, Utersum und Wyk**

## **Voruntersuchung**

**– Kosten-/Nutzenanalyse –**

**im Auftrag der Stadt Wyk a. Föhr (Projektträger)**

**Martin Müßig, Dipl.-Ing.  
Ingenieurgesellschaft Steinburg  
Hayenga-Hoyer/Wittkugel mbH  
Brokreihe 20, 25569 Bahrenfleth**

**Februar 2004**

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor**





## Veranlassung

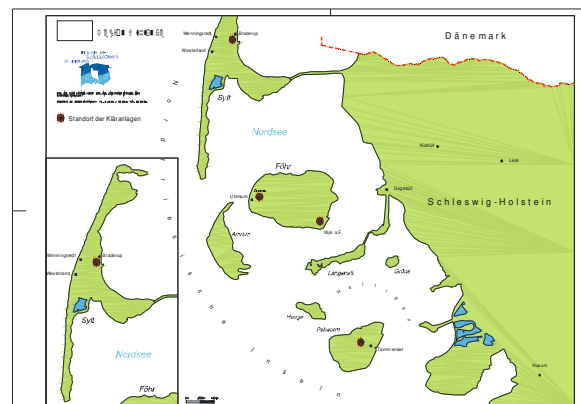
Steigende Anforderungen und Kosten zwingen die Kläranlagenbetreiber, vermehrt Überlegungen zur Neuordnung ihrer Schlammbehandlung /-verwertung anzustellen. Besonders betroffen sind die Ferienorte auf den nordfriesischen Inseln. Der ausgeprägte Fremdenverkehrseinfluß führt zu einer hohen sommerlichen Belastung und einem drastischem Absinken der Anschlußgröße in den Wintermonaten. Auf den modern ausgebauten Inselkläranlagen fällt kontinuierlich überschüssiger Klärschlamm an, der mit einem Restwassergehalt von ca. 80 bis 90 % überwiegend auf das Festland transportiert und dort landwirtschaftlich verwertet werden muß. Aufgrund des Schiffstransports verursachen bereits die Transportkosten unabhängig vom Verwertungsverfahren einen erheblichen Anteil an den Verwertungskosten.

Im Zuge der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung findet unbestritten ein Eintrag von organischen Schadstoffen und Schwermetallen in die landwirtschaftliche Produktion statt. In absehbarer Zeit ist daher mit einer deutlichen Verschärfung der Anforderungen an die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung zu rechnen. Ersatzweise werden bevorzugt Verfahren der thermischen Klärschlammverwertung (Verbrennung) an ihre Stelle treten.

Vorrangige Ziele weiterer Klärschlammbehandlungsverfahren sind daher, die Verringerung der Transport- und Verwertungskosten sowie die Voraussetzungen für eine zukunftssichere Klärschlammverwertung zu schaffen.

Mit dem Ziel, Entscheidungsgrundlagen für die betroffenen Kläranlagenbetreiber zu schaffen, wurde die Ingenieurgesellschaft Steinburg mbH, Bahrenfleth (IGS), mit der Erstellung einer Kosten-/Nutzungsanalyse zum Einsatz der solaren Klärschlamm-trocknung beauftragt. Die Ergebnisse sollen möglichst auf die gesamte Region der nordfriesischen Inseln übertragbar sein. Zu diesem Zweck wurden vier Kläranlagen unterschiedlicher Größe und Verfahrenstechnik auf 3 verschiedenen Insel untersucht:

- Gemeinde Pellworm Insel Pellworm
- Gemeinde Wenningstedt Insel Sylt
- Gemeinde Utersum Insel Föhr
- Stadt Wyk Insel Föhr





## Darstellung der solaren Klärschlamm-trocknung

### Allgemeine Verfahrensbeschreibung

Eine Besonderheit der solaren Schlamm-trocknung stellt der weitestgehende Verzicht auf den Einsatz fossiler Brennstoffe sowie elektrischer Energie dar.

Kernstück der Anlage ist ein „gewächshausähnliches“ Gebäude aus einer Betonplatte mit umlaufender Aufkantung sowie einer hochtransparenten, wärmedämmenden Gebäudehülle. Die Hülle kann sowohl aus Kunststoff-Glasplatten oder UV- und sturm-fester Luftporenfolie bestehen.

Die Sonneneinstrahlung führt zu einer internen Erwärmung von Luft und Schlamm und dient zur Erhöhung der Wasserdampfaufnahme im Luftraum des Trockners. Durch Umluftführung sowie angepasste Be- und Entlüftung mittels Ventilatoren findet ein Wasserdampftransport vom Klärschlamm in die Umgebungsluft statt. Abhängig von den Witterungsbedingungen sowie dem Schlammzustand werden verschiedene kontinuierlich erfasste Messwerte (Temperatur, Luftfeuchte, Solarstrahlung, Wind) zur Optimierung des Trocknungsprozesses eingesetzt.

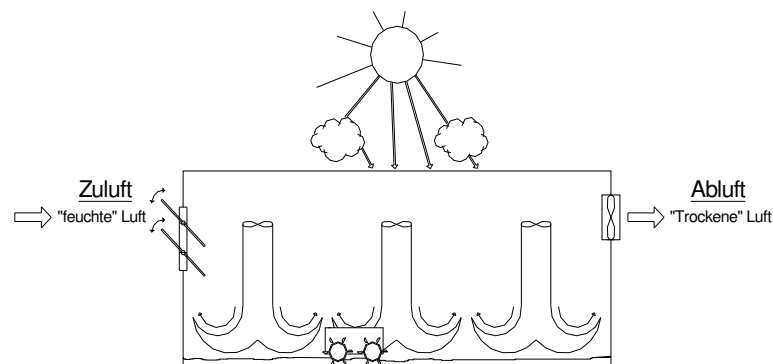


Bild 1: Funktionsschema der solaren Klärschlamm-trocknung



Die mittlere Leistungsfähigkeit der Anlagen beträgt ca. 600 bis 1.000 kg Wasserentzug je Quadratmeter Trocknungsfläche und Jahr (ohne Abwärmenutzung).

Neben der direkten Sonneneinstrahlung wird auch die diffuse Sonnenstrahlung bei bedecktem Himmel genutzt. Im Jahresmittel beträgt die Globalstrahlung ca. 2,5 kWh/m<sup>2</sup>; auf den nordfriesischen Inseln kann mit ca. 0,15 kWh/m<sup>2</sup> jährlich mehr gerechnet werden. Weiterhin ist auf den Inseln ist mit einer Sonnenscheindauer von 1.600 h/a zu rechnen, wovon ca. 2/3 erfahrungsgemäß im Sommer auftreten. Gegenüber dem Festland kann mit etwa 100 h/a zusätzlich Sonnenscheindauer gerechnet werden.

Der Betrieb erfolgt grundsätzlich im Chargenbetrieb, wobei auch bei einer Trocknungseinheit eine kontinuierliche Beschickung realisiert werden kann. Die Befüllung kann mittels Dickstoffpumpe oder kleinem Radlader/Frontlader erfolgen.

Zur Verteilung und anschließenden Vermischung werden vollautomatisch arbeitende Einrichtungen eingesetzt. Auf diese Weise können Haufwerke kontinuierlich abgebaut und verteilt werden. Die Durchmischung sorgt für eine effiziente und geruchsarme Trocknungsatmosphäre.



Der Trocknungsablauf erfolgt vollautomatisch, so dass bis zum Ende des Trocknungsvorganges kein Eingriff erforderlich ist. Durch gezielten Luftaustausch wird das Trocknungspotential der Außenluft in Abhängigkeit der Regelparameter Temperatur, Luftfeuchte, Wind usw. optimal genutzt. Gleichzeitig wird eine interne Zirkulation angeregt.

Die Entleerung des getrockneten Schlammes kann sowohl mittels Radlader oder Austragschnecke erfolgen. Zum Abtransport können Container, big-bags o. ä. eingesetzt werden.

Maßnahmen zur Abluft- bzw. Brüdenbehandlung sind insbesondere wegen der geringen Feststofftemperaturen von max. 50 °C im Gegensatz zu technischen Hochtemperaturtrocknern nicht erforderlich.



Das Verfahren arbeitet mit vergleichsweise geringen Schlammttemperaturen, so dass der Einsatz von Niedrigtemperatur-Abwärme (z. B. BHKW-Wenningstedt; ggf. Wyk) sehr effektiv und einfach möglich ist.

### Vorgehensweise:

Zu Beginn der Projektbearbeitung wurde der Anlagenbestand der ausgewählten Kläranlagen erfasst. Weiterhin wurden die anfallenden Schlammengen sowie die jeweiligen Transport- und Verwertungswege untersucht und kaufmännisch bewertet.

Anhand des danach vorliegenden Datenmaterials wurden die geeigneten Solartrocknungsanlagen für jede Kläranlage entworfen sowie deren Kosten ermittelt.

Im Rahmen eines Jahreskostenvergleichs konnten anschließend die Verwertungskosten mit und ohne vorherige Durchführung einer solaren Klärschlamm-trocknung gegenübergestellt werden.

Kosten-/Nutzenanalyse "Solare Klärschlamm-trocknung"												
Auswertung des Solaren Trocknungsverfahren		Kläranlage		Pellworm	Pellworm	Wenningstedt	Wenningstedt	Uttersum	Uttersum	Wyk	Wyk	
		Insel	Pellworm	Pellworm	Sylt	Sylt	Föhr	Föhr	Föhr	Föhr	Föhr	
Jahreskostenvergleich		Trocknungsverfahren	Solar-trocknung	Verwertung ohne Trocknung (bisher)	Solar-trocknung	Verwertung ohne Trocknung (bisher)	Solar-trocknung	Verwertung ohne Trocknung (bisher)	Solar-trocknung	Verwertung ohne Trocknung (bisher)	Solar-trocknung	Verwertung ohne Trocknung (bisher)
Kapitalkosten	Anteil an Gesamtkosten	€/a	10756	0	17554	0	14071	0	37071	0		
Betriebskosten	Anteil an Gesamtkosten	€/a	6714	2112	11525	8436	24060	17340	18754	11580		
Schlammverwertung	Anteil an Gesamtkosten	€/a	6719	21293	24851	64307	13697	36648	57357	152413		
GESAMTJAHRESKOSTEN		€/a	24189	23405	53930	72743	51827	53988	113181	163993		
ABWASSERKOSTEN (bezogen auf Frischwasserverbrauch)		€/m³	0,48	0,46	0,17	0,23	0,37	0,39	0,16	0,23		
jährliche Ersparnis gegenüber der derzeitigen Praxis		€/a	-1000	-	20000	-	2000	-	50000	-		



## **Zusammenfassung des Kostenvergleichs**

Unabhängig von den jeweiligen Randbedingungen (Insel, Anlagengröße, bisherige Ausstattung zur Schlamm entwässerung usw.) stellt die solare Klärschlamm trocknung ein sehr geeignetes Verfahren zur Senkung der Klärschlamm behandlungskosten dar. Erste Erfahrungen mit der solaren Klärschlamm trocknung in Schleswig-Holstein sind bereits in die Anlagenkalkulation eingeflossen.

Trotz i.d.R. besserer Trocknungsergebnisse (ca. 80-85 %) wird für den Kostenvergleich ein erreichbarer Feststoffgehalt von nur 75 % angenommen.

Die angenommenen Eingangs-Feststoffgehalte wurden bei den Anlagen, die über eine Entwässerungsanlage verfügen, mit 20 % TR eher niedrig angesetzt. Ob die statische Entwässerung (KA Pellworm) die angenommenen i.M. 15 % TR sicher eingehalten werden, ist noch nicht bestätigt.

### **Pellworm**

Die geringe Anlagengröße führt bei der Errichtung von Klärschlammbehandlungsverfahren zu hohen spezifischen Investitionskosten. Die Trocknung mittels Solarenergie bewirkt eine geringe Erhöhung der Abwassergebühr.

Die Transportentfernung zur landwirtschaftlichen Verwertungsstelle wurde i. M. mit 65 km angenommen. Sollten sich die Transportkosten nur geringfügig erhöhen, kann durch Einrichtung einer solaren Trocknung durchaus ein finanzieller „Gewinn“ erwirtschaftet werden.

Im Falle einer verwertungsbedingten Erfordernis zur Verringerung des Wassergehaltes im Klärschlamm können mittels solarer Trocknung sofort deutliche wirtschaftliche Ersparnisse erzielt werden.

### **Wenningstedt**

Die Errichtung einer solaren Klärschlamm trocknung führt sofort zu einer Kostenersparnis von netto ca. 6 bis 7 ct/m<sup>3</sup> Trinkwasser. Dies ist sowohl auf die hohen Transportkosten zum Festland als auch auf die „kostenlose“ Nutzung der BHKW-Abwärme zurückzuführen.



Insgesamt können ca. 20.000 €/a gespart werden.

Mit zunehmenden Anforderungen an den Trockensubstanzgehalt und zunehmender Transportentfernung nimmt die Wirtschaftlichkeit noch weiter zu.

### **Utersum**

Die Errichtung einer solaren Klärschlamm-trocknung führt sofort zu einer Kostenersparnis von netto ca. 2 bis 3 ct/m<sup>3</sup> Trinkwasser. Als Ersatz für die nicht vorhandene Schlamm-trennungsanlage wurden zusätzliche Kosten für die Inanspruchnahme einer mobilen Schlamm-trennung durch ein Lohnunternehmen angesetzt. Ansonsten wären noch deutlich höhere Ersparnisse möglich.

Insgesamt können ca. 2.000,00 €/a gespart werden.

### **Wyk a. Föhr**

Die Errichtung einer solaren Klärschlamm-trocknungsanlage führt zu einer sofortigen Kostenersparnis von netto ca. 7 bis 8 ct/m<sup>3</sup> Trinkwasser.

Insgesamt können etwa 50.000,00 €/a gespart werden.

Durch Verwendung überschüssiger Wärme aus dem BHKW zur Biogasverstromung kann die Wirtschaftlichkeit der solaren Klärschlamm-trocknung noch weiter gesteigert werden. Grundsätzlich ist jedoch der höherwertigen Verstromung des Biogases Vorrang einzuräumen.

### **Regionsbezogene Ergebnisse**

Die vorliegende Studie zeigt, dass die solare Klärschlamm-trocknung für die Inselkommunen eine hervorragende Verfahrensweise zur Klärschlammbehandlung darstellt.

Aufgrund der lagebedingten Frachterschwernisse kann bereits im ersten Betriebsjahr eine Gebührenersparnis von bis zu 8ct/m<sup>3</sup> Trinkwasser erzielt werden. Besonders vorteilhaft wirkt sich die Korrelation zwischen sommerlichem Schlammanfalls und gleichzeitig hoher Strahlungsin-tensität aus.



Reduktion der zu transportierenden und zu verwertenden Schlammengen:

	ohne Trocknung	mit Trocknung (75 % TR)
	t/a	t/a
Pellworm	200	40
Wenningstedt	530	140
Utersum	270	70
Wyk	1.150	300

Aufgrund der begrenzten landwirtschaftlich genutzten Flächen, des im Verhältnis zur Einwohnerzahl überproportional großen Schlammanfalls sowie der touristisch bedingten geringen Akzeptanz gegenüber der inselinternen Klärschlammverwertung ist auch künftig bei allen Inselkommunen von einer Verwertung auf dem Festland auszugehen.

Diese Studie hat grundsätzlich für alle Kommunen Gültigkeit, deren Klärschlamm-situation folgende Eigenschaften aufweist:

- Die anfallenden Klärschlämme können nicht in unmittelbarer Umgebung der Kläranlage verwertet werden (lange Transportwege, Fährkosten u.ä.)
- Hauptsächlich fallen die Klärschlämme während der Sommermonate an (Ferienregionen, Kampagnebetriebe)

### **Ökologische Betrachtung**

Da es sich bei der solaren Schlamm-trocknung um ein Niedertemperaturverfahren handelt, werden maximale Feststofftemperaturen von etwa 50 °C erreicht. Negative Umweltbelastungen in Form von schädlichen stofflichen Umsetzungen sowie gasförmigen Emissionen treten nur im gleichen Rahmen wie bei der bisher üblichen Entwässerung, Lagerung sowie landwirtschaftlichen Verwertung auf.

Geruchsemissionen treten erfahrungsgemäß nicht auf, da der regelmäßige Luftdurchsatz in Verbindung mit der geringen Stofftemperatur und der ständigen Umwälzung weder anaerobe Zustände nach Gasaustrieb zulässt.

Im Vergleich zu den technischen Trocknungsverfahren unter Einsatz fossiler Energieträger wie Heizöl und Gas treten bei der solaren Klärschlamm-trocknung keine verbrennungstypischen





Umweltbelastungen wie CO<sub>2</sub> in nennenswertem Umfang auf. Entsprechend kann auf Abluftreinigungseinrichtungen verzichtet werden.

Der elektrische Energiebedarf für die Umwälzung, Ventilatoren und Steuereinrichtungen beträgt ca. 0,03 kWh/kg H<sub>2</sub>O.

Abhängig vom Verfahren beträgt der elektrische Energieverbrauch von Hochtemperatortrocknungen ca. 0,1-0,8 kWh/kg H<sub>2</sub>O. Zusätzlich entstehen gegenüber der Solartrocknung CO<sub>2</sub> Emissionen aus der Verbrennung von ca. 0,1 Liter Heizöl bzw. m<sup>3</sup> Erdgas je kg verdampften Wassers.

Grundsätzlich gilt für alle Trocknungsverfahren, dass durch die drastische Verringerung der Schlammengen auch eine proportionale Verringerung des transportbedingten CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- und Ruß-Ausstoßes (LkW-Motoren) erzielt wird. Außer bei der solaren Trocknung ist jedoch ein CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei der Verbrennung von ca. 100 l Heizöl je t H<sub>2</sub>O gegen zu rechnen.

### **Entsorgungssicherheit**

Die Betrachtung der Klärschlamm-Behandlungskosten stellt nur ein Kriterium bei der Verfahrenswahl dar. Wichtig für jeden Kläranlagenbetreiber ist auch die langfristige Sicherung des eingeschlagenen Schlamm-Verwertungsweges. Die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung stellt derzeit noch die preisgünstigste Lösung dar. In absehbarer Zeit ist jedoch mit einer deutlichen Verschärfung der Qualitätsgrenzwerte hierfür zu rechnen, so dass diese Verwertungsmöglichkeit faktisch nur noch sehr selten zur Verfügung stehen wird. Eine sichere Prognose der zukünftig zu erwartenden Anforderungen an die Schlammverwertung ist auch seitens der zuständigen Behörden nicht zu bekommen. Es ist jedoch mit folgendem zu rechnen:

- Angleichung der qualitativen Anforderungen für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung an die Grundsätze der Bodenschutzgesetzgebung. „Boden darf durch Klärschlamm nicht nachhaltig in seiner Qualität verschlechtert werden.“
- Höchste Verwertungssicherheit wird von thermischen Verwertungsverfahren erwartet.

Unter den o. g. Aspekten sollten bei jeder Verfahrensauswahl zur (Vor-) Behandlung von Klärschlamm folgende Fragestellungen berücksichtigt werden:



## Solare Trocknung

- |  |    |
|--|----|
| • Kosteneinsparung gegenüber jetziger Verfahrensweise? (Fracht- und Verwertungskosten)                                   | ja |
| • Schaffung günstiger Voraussetzungen für sämtliche zu erwartenden Verwertungsszenarien?                                 | ja |
| • Flexible Anpassung der Kapazitäten an wechselnde Schlammengen?<br>(Tourismus, tlw. Übergang zu neuen Verwertungswegen) | ja |
| • ökologisch nachhaltig sinnvolle Verfahrenswahl?<br>(geringster Energiebedarf, weitgehend emissionsfrei)                | ja |

Durch die solare Schlamm-trocknung wird eine deutliche und zukunfts-sichere Verbesserung der Entsorgungssicherheit für die Inselkommunen erzielt.

Nach Trocknung auf 60 % TR ist jederzeit die selbstgängige Verbrennung des Klärschlammes gewährleistet. Damit führt die Trocknung – insbesondere unter Verwendung regenerativer oder überschüssiger Energie – zu einer Verbesserung der Ökobilanz des Klärschlammes. Nachfolgende Trocknungs- oder Verbrennungsvorgänge (Verbrennung, Co-Verbrennung, Pyrolyse u.ä.) können mit Energieüberschuss durchgeführt werden, wodurch die Forderung des Kreislaufwirkungsgesetzes als Voraussetzung für die thermische Klärschlammverwertung überhaupt erst erfüllt wird.

### **Klärschlamm-trocknung**

Für die Insel-Kläranlagen hat die Klärschlamm-trocknung vorrangig drei Aufgaben zu erfüllen:

- sinnvolle Verringerung der aufs Festland zu transportierenden Schlamm-mengen (ca. 70-90 % TR)
- Nutzung kostenloser und umweltschonender Energiearten
- weitestgehende Nutzung der „kostenlos“ zur Verfügung stehenden BHKW-Abwärme (nur Wenningstedt/Sylt)

Weiterhin sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Trocknerauslegung unter Berücksichtigung der saisonalen Belastungsschwankungen



- möglichst kontinuierlicher Abwärmebedarf, da BHKW-Abwärme kontinuierlich anfällt (nur Wenningstedt/Sylt)
- geringe Ansprüche an Bedienung, Wartung und Instandhaltung
- geringe Kosten
- Ausschöpfen etwaiger Fördermöglichkeiten
- Verzicht auf befeuerte Trocknungsverfahren, bei denen zusätzlich zum elektrischen Energiebedarf mit einem jährlichen Heizölbedarf von ca. 45.000 l (nur Wenningstedt/Sylt) zu rechnen.
- Mitbehandlung weiterer Schlämme ermöglichen
- möglichst hohe Akzeptanz bei den Bürgern

Als einziges Behandlungskriterium wird von dem Niedrigtemperatur-Trockner die ggf. später von der EU geforderte Hygienisierung nicht erreicht. Die Einführung von Grenzwerten erscheint jedoch äußerst fraglich. Durch Nachbehandlung des vergleichsweise geringen Restschlammes (z. B. Kalk, Hochtemperatur, Bestrahlung) oder Beschränkung der landwirtschaftlichen Aufbringung – nicht auf Weideland oder Futteranbauflächen – könnte diese Anforderung, falls jemals erforderlich, erfüllt werden.

Bereits bei der Wahl des Trocknungsverfahrens sollte auf möglichst schonende mechanische Behandlung des Trockengutes Wert gelegt werden. Auf diese Weise können Explosionsgefahren und störende Staubentwicklungen bei der landwirtschaftlichen Aufbringung vermieden werden

Verfahren mit geringen Trocknungstemperaturen wie Bandtrockner, Solartrockner und Kaltlufttrockner verursachen grundsätzlich geringe Geruchs-, Brüden- und Abluftprobleme.



Durch umfangreiche Messungen konnte nachgewiesen werden, dass die solaren Witterungsbedingungen für die Klärschlamm-trocknung auf den nordfriesischen Inseln besser als auf dem Festland sind.



Für die Beurteilung der einzelnen Trocknungsverfahren ist grundsätzlich von künftig zunehmenden Energie-, Transport- und Entsorgungskosten auszugehen. Daher werden die energiearmen Trocknungsverfahren immer wirtschaftlicher und die Preisschere zwischen Niedrigtemperatur- und Hochtemperaturverfahren (Strom-, Heizöl-, Gaseinsatz) immer weiter geöffnet.

Da es sich bei dem solaren Trocknungsverfahren um ein Niedertemperaturverfahren mit geringen spezifischen Energieumsätzen handelt, ist auf eine verfahrenstechnisch und baulich qualifizierte Ausführung besonderer Art Wert zu legen. Bei Nichtbeachtung der wissenschaftlichen Erkenntnisse sind Misserfolge nicht auszuschließen.